

# Force transmission device e.g. for engine common rail fuel injection system

**Publication number:** DE19807903

**Publication date:** 1999-09-02

**Inventor:** KAPPEL ANDREAS (DE); MOCK RANDOLF (DE);  
MEIXNER HANS (DE)

**Applicant:** SIEMENS AG (DE)

**Classification:**


**- international:** *F02M51/06; F02M59/46; F02M63/02; H01L41/053;*  
*F02M51/06; F02M59/00; F02M63/00; H01L41/00;*  
(IPC1-7): F16K15/00; F15B7/00; F02M47/00;  
F02M51/06; F15B9/09; F15B15/02; F15B21/00

**- european:** F02M51/06A; F02M59/46E2; F02M63/02C; H01L41/053

**Application number:** DE19981007903 19980225

**Priority number(s):** DE19981007903 19980225

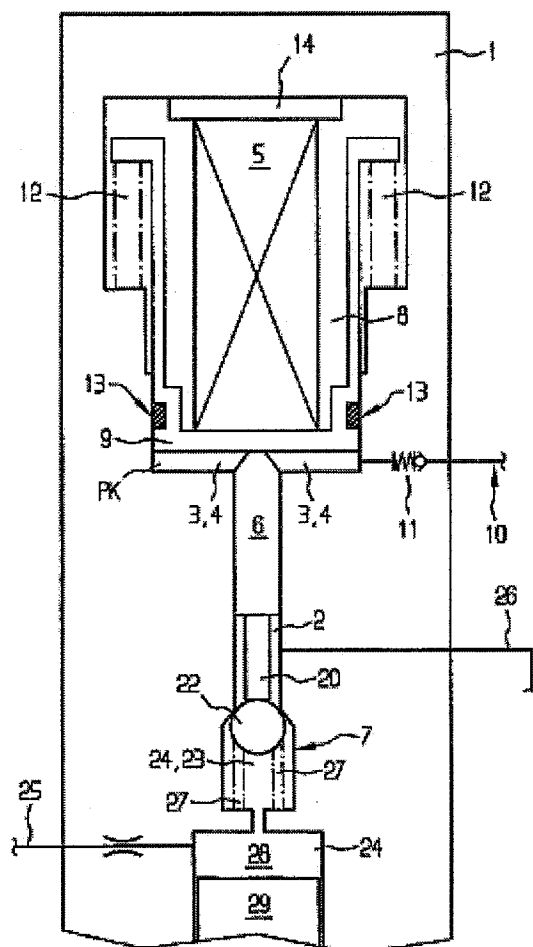
**Also published as:**

 FR2777609 (A1)

**Report a data error here**

## Abstract of DE19807903

The force transfer arrangement has a working chamber (3) contg. fluid (4) under a chamber pressure, a control drive (5), a housing (1) with at least one bore (2) bounding on the working chamber, a piston (6) per bore axially movable in the bore and a restoring device (7) per piston which presses the piston in the direction of the working chamber. At rest, a mechanical force connection exists between the control drive (5) and piston (6) via the working chamber. By moving the control drive the piston is mechanically displaced whilst increasing the chamber pressure until it is displaced solely by hydraulic conversion.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12

Offenlegungsschrift

10

DE 198 07 903 A 1

21 Aktenzeichen: 198 07 903.6

22 Anmeldetag: 25. 2. 98

43 Offenlegungstag: 2. 9. 99

51

Int. Cl.<sup>6</sup>:

F 15 B 7/00

F 15 B 15/02

F 15 B 21/00

F 15 B 9/09

F 02 M 47/00

F 02 M 51/06

// F16K 15/00

DE 198 07 903 A 1

71 Anmelder:

Siemens AG, 80333 München, DE

72 Erfinder:

Kappel, Andreas, Dipl.-Phys. Dr., 81369 München,  
DE; Mock, Randolph, Dipl.-Phys. Dr., 81739 München,  
DE; Meixner, Hans, Prof. Dr., 85540 Haar, DE

56 Entgegenhaltungen:

DE 43 06 072 C2

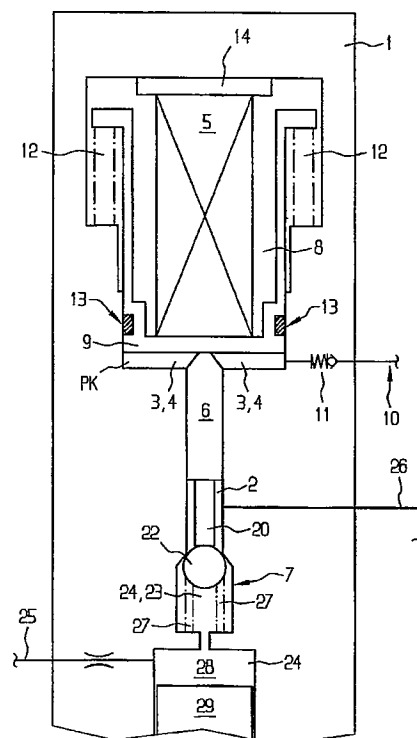
DE 1 95 20 152 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Vorrichtung und Verfahren zur Kraftübertragung

57 Vorrichtung zur Kraftübertragung, bestehend aus einer Arbeitskammer (3), die ein unter einem Kammerdruck (PK) stehendes Fluid (4) enthält, einem Stellantrieb (5), einem Gehäuse (1), das mit mindestens einer an die Arbeitskammer (3) grenzenden Bohrung (2) versehen ist, einem Kolben (6) pro Bohrung (2), der in der jeweiligen Bohrung (2) axialverschiebbar angeordnet ist, einer Rückstellvorrichtung (7) pro Kolben (6), die den jeweiligen Kolben (6) in Richtung der Arbeitskammer (3) drückt, wobei in Ruhestellung über die Arbeitskammer (3) ein mechanischer Kraftschluß zwischen Stellantrieb (5) und Kolben (6) vorhanden ist, durch Bewegung des Stellantriebs (5) der Kolben (6) mechanisch bei gleichzeitiger Erhöhung des Kammerdrucks (PK) solange verschiebbar ist, bis er ausschließlich durch hydraulische Übersetzung verschiebbar ist.



DE 198 07 903 A 1

Viele Steuer- oder Schaltelemente werden angesteuert, indem auf sie eine mechanische Kraft ausgeübt wird. Dabei ist es häufig so, daß am Anfang des Schaltvorgangs eine hohe mechanische Kraft aufgewendet werden muß, während zur weiteren Öffnung eine sehr viel geringere Kraft aufgewendet werden muß.

Ein Beispiel für ein solches Schalt- oder Steuerelement ist eine fluidbefüllte Hydraulikkammer, über deren Innendruck ein Kolben gesteuert wird. Im Ausgangszustand ist der Innendruck maximal und der Kolben maximal ausgelenkt. Die Hydraulikkammer ist mit einem drucklosen Abfluß verbunden, wobei die Verbindung zwischen Hydraulikkammer und Abfluß im Ruhezustand durch ein Dichtelement (beispielsweise ein Tellerventil) verschlossen ist, welches beispielsweise durch eine Feder gegen seinen Sitz gedrückt wird.

Zum Öffnen des Schalt- oder Steuerelementes wird das Dichtelement in die Hydraulikkammer gedrückt. Dazu müssen zwei Arten von Gegenkräften überwunden werden. Dies sind die durch die Feder und die durch das Fluid ausgeübte Kraft auf das Dichtelement. Gerade bei Hochdrucksystemen, beispielsweise "Common-Rail"-Systemen für Motoreinspritzungen, ist die hydraulische Druckkraft auf das Ventil um ein Vielfaches höher als die Federkraft.

Beim Öffnungsvorgang muß also zunächst eine hohe Kraft aufgewendet werden. Unmittelbar nach Öffnung der Ventilkammer fließt das Fluid in den Ablauf und der am Dichtelement anstehende Druck nach dem Aufstoßen des Ventils sinkt sehr schnell auf niedrige Werte, wodurch die auf das Dichtelement wirkenden hydraulischen Kräfte ebenfalls sehr schnell abnehmen. In dieser Phase sollte die Durchlaßfläche am Dichtelement soweit vergrößert werden, daß der Einfluß von Hubtoleranzen des Dichtelementes auf die Durchflußcharakteristik des Ventils gering ist. Beispielsweise kann das Dichtelement gegen einen unteren Anschlag bewegt werden, wodurch die Durchflußcharakteristik exakt definiert und unabhängig vom Stellantrieb des Dichtelementes ist.

Ein, beispielsweise von einem Piezoelement oder einem magneto- oder elektrostriktiven Element, direkt angetriebenes Dichtelement bietet in der ersten Betriebsphase, in der hohe Kräfte aufgebracht werden müssen, Vorteile, da die vom Piezoaktor erzeugte Kraft direkt und verzögerungsfrei am Dichtelement ansteht. Ein in dieser Weise angetriebenes Dichtelement ist somit auch noch bei sehr hohen Drücken funktionsfähig. Allerdings sind durch den geringen Ventilhub der Piezoaktoren erhebliche Streuungen in der Durchflußcharakteristik zwischen einzelnen Steuerelementen zu verzeichnen, die die Überführung in ein Serienprodukt, z. B. bei Nutzung in Kraftstoffinjektoren, erheblich erschweren. Auch Alterungseffekte (z. B. durch Setzen des Piezoaktors) schlagen direkt auf die Durchflußcharakteristik am Dichtelement durch. Obwohl diese Problematik durch entsprechenden Vorhalt, insbesondere der Länge des Piezoaktors, zumindest teilweise entschärft werden kann, ist ein solches Vorgehen nur mit sehr hohem Aufwand möglich.

Andere Antriebe, wie z. B. elektromagnetische oder rein hydraulische Antriebe, besitzen zwar einen großen Hub, sind aber bei vielen Anwendungen nicht in der Lage, bei Beginn der Hubphase die geforderten sehr hohen Kräfte aufzubringen, beispielsweise wegen der Forderung nach geringen Bauteildimensionen.

Es ist bisher keine Vorrichtung und kein Verfahren bekannt, bei dem bei verhältnismäßig geringem Aufwand am Anfang einer Hubphase große Kräfte bereitgestellt werden und im weiteren Verlauf große Hübe ermöglicht werden.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, eine Möglichkeit zur

Aufbringung hoher Kräfte und großer Verschiebungen während einer Hubphase bereitzustellen.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Anspruchs 1 bzw. 23 oder 30 gelöst.

Die Erfindung beruht darauf, daß zwischen einem primärseitigen Stellantrieb, der große Kräfte ausüben kann, und einem sekundärseitigen Kolben ("Sekundärkolben") ein Kraftübertrager mit integrierter Möglichkeit zur Hubübersetzung in Form einer fluidgefüllten Arbeitskammer wirkt. Dabei entspricht "primärseitig" dem direkt steuerbaren Teil der Kraftübertragung und "sekundärseitig" dem durch die Kraftübertragung gesteuerten Teil.

Der Sekundärkolben ist in einer Bohrung eines Gehäuses axialverschiebbar angebracht und wird durch eine Rückstellvorrichtung, beispielsweise eine Druckfeder, in Richtung der Arbeitskammer gedrückt. In Ruhestellung ist eine direkte mechanische Kraftübertragung vom Stellantrieb auf den Sekundärkolben vorhanden. Der mechanische Kraftschluß zwischen primärseitigem Stellantrieb und sekundärseitigem Kolben kann beispielsweise dadurch realisiert sein, daß der sekundärseitige Kolben in die Arbeitskammer hereinreicht und beispielsweise nur durch eine Wand der Arbeitskammer vom Stellantrieb getrennt ist.

Zu Beginn der Hubphase wird der Stellantrieb ausgelenkt und drückt dadurch, beispielsweise von außen, auf die Arbeitskammer, so daß deren Volumen verkleinert wird. Durch den direkten mechanischen Kraftschluß zwischen primärseitigem Stellantrieb und sekundärseitigem Kolben wird die Bewegung des Stellantriebs so auf den Kolben übertragen, daß dieser von der Arbeitskammer weg bewegt wird. Der Sekundärkolben ist also direkt und verzögerungsfrei steuerbar. Vorteilhafterweise entspricht die Bewegungsrichtung des Stellantriebs der Bewegungsrichtung des Sekundärkolbens, so daß sich deren Bewegungen entsprechen.

Durch die Auslenkung des Stellantriebs und die damit einhergehende Verringerung des Volumens der Arbeitskammer wird das in der Arbeitskammer enthaltene Fluid zusammengedrückt, und dadurch der Kammerdruck erhöht. Durch die Erhöhung des Kammerdrucks erhöht sich auch die vom Fluid auf den Sekundärkolben ausgeübte Kraft, die zusätzlich zur mechanischen Kraft vorhanden ist. Die Bewegung des Stellantriebs wird solange direkt auf den Sekundärkolben übertragen, bis der Kammerdruck des Fluids so hoch ist, daß dieser allein genügt, den Kolben von der Arbeitskammer weg zu drücken. Dies führt zum Lösen des mechanischen Kraftschlusses zwischen Primär- und Sekundärseite, d. h. daß der Stellantrieb und der Kolben mechanisch entkoppeln. Die Kraftübertragung zwischen Primär- und Sekundärseite geschieht also ab diesem Zeitpunkt rein hydraulisch, wobei der vom Kolben ausgeführte Hub größer ist als derjenige des Stellantriebs. An die Hubphase der mechanischhydraulischen Kraftübertragung schließt sich somit eine Hubphase mit rein hydraulischer Hubübersetzung an.

Ein weiteres Beispiel für eine Kraftübertragung bei anfangs hohen Kräften und folgender Hubübertragung ist der Einsatz einer Doppelmembran zwischen primärseitigem Stellantrieb und sekundärseitigem Kolben. Dabei ist in Ruhestellung der mechanische Kraftschluß zwischen Stellantrieb und Kolben dadurch gewährleistet, daß beispielsweise entweder ein Hütchen als Teil einer Membran auf der anderen Membran aufliegt oder eine der Membranen zur anderen hin gewölbt ist.

In den folgenden Ausführungsbeispielen wird der Aufbau eines Kraftübertragers beispielhaft dargelegt.

Fig. 1 zeigt als Schnittdarstellung in Seitenansicht einen Kraftübertrager als Teil eines Ventilsystems,

Fig. 2 zeigt als Skizze ein Kraft-Weg-Diagramm eines Kraftübertragers,

**Fig. 3** zeigt beispielhaft als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine weitere Ausführungsform des Kraftübertragers mit einer Membran,

**Fig. 4** zeigt beispielhaft als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine Ausführungsform eines Kraftübertragers mit Doppelmembran,

**Fig. 5** zeigt beispielhaft als Schnittdarstellung in Seitenansicht eine weitere Ausführungsform eines Kraftübertragers mit Hilfe einer Doppelmembran.

**Fig. 1** zeigt beispielhaft einen Kraftübertrager als Teil eines hydraulisch gesteuerten Ventils. In einem Gehäuse **1** ist eine Bohrung **8** eingebracht, in der ein primärseitiger Antriebskolben **9** axialverschiebbar vorhanden ist. Der Antriebskolben **9** ist im wesentlichen ein einseitig offener, hoher Zylinder, wobei durch den Antriebskolben **9** und das Gehäuse **1** eine Arbeitskammer **3** geschaffen wird. Zwischen der an die Arbeitskammer **3** grenzenden Wand des Antriebskolbens **9** (vorteilhafter Durchmesser 5–50 mm) und dem Gehäuse **1** ist ein primärseitiger Stellantrieb **5** angebracht. Der Stellantrieb **5** ist in dieser Figur vorteilhafterweise als Piezoelement ausgeführt, weil dieses sehr hohe Kräfte erzeugen kann, einfach handhabbar ist, verzögerungsfrei anspricht und einen linearen Zusammenhang zwischen angelegter Spannung und Längenausdehnung zeigt. Die Anschlüsse zur Steuerung des Piezoelementes sind zur einfacheren Darstellung nicht eingezeichnet, können aber beispielsweise an den beiden Stirnflächen in axialer Richtung anliegen. Die Länge des Piezoelementes in (axialer) Ausdehnungsrichtung beträgt in diesem Ausführungsbeispiel vorteilhafterweise 5–100 mm, seine Kantenlänge senkrecht dazu (bei quaderförmiger Ausführung) bzw. sein Durchmesser (bei zylinderförmiger Ausführung) betragen vorteilhafterweise 2–20 mm. Typische Piezohübe liegen im Bereich von 0,10–0,17% der Länge des Piezoelementes.

Zwischen primären Stellantrieb **5** und Gehäuse **1** ist eine Ausgleichscheibe **14** angebracht, durch die vorteilhafterweise thermische Ausdehnungen im Kraftübertrager ausgeglichen werden. Die Ausgleichsscheibe **14** kann aber auch an anderer Stelle in der Hubübertragungskette angebracht sein. Durch ein oder mehrere Federn **12** wird der Antriebskolben **9** von der Arbeitskammer **3** weg gedrückt. Zwischen dem Antriebskolben **9** und der senkrecht zur Bewegungsrichtung vorhandenen Wand der Bohrung **8** ist eine umlaufende Dichtung **13** vorhanden, die die Arbeitskammer **3** hydraulisch gegen den rückwärtigen Teil der Bohrung **8** abdichtet.

In die Arbeitskammer **3** mündet eine Bohrung **2**, in der ein Sekundärkolben **6** axialverschiebbar angeordnet ist. Die Bewegungsrichtung des Sekundärkolbens **6** entspricht derjenigen des Antriebskolbens **9**. Die Bohrung **2** führt zentriert und senkrecht in die dem Antriebskolben **9** entgegengesetzt liegende Wand der Arbeitskammer **3**. Es sind aber auch andere Bohrungen **2** möglich, beispielsweise mehrere Bohrungen **2**, die in einem rotationssymmetrischen Muster in die Arbeitskammer **3** münden und jeweils einen bestimmten Winkel zur Bewegungsrichtung des Stellantriebs **5** besitzen.

Die Arbeitskammer **3** wird über eine Befüllzuleitung **10**, die mit einem Rückschlagventil **11** versehen ist, mit einem Fluid **4** befüllt. Die Befüllzuleitung **10** ist notwendig, damit mögliche Fluidverluste durch Leckagen ausgeglichen werden. Die Arbeitskammer ist nur weitgehend hydraulisch abgedichtet, d. h. daß bei Kompression der Arbeitskammer **3** der Druckaufbau des Fluids **4** durch eine Leckage nicht signifikant gestört wird. In dieser Figur treten Leckagen durch Verlust von Fluid **4** zwischen Bohrung **2** und Sekundärkolben **6** auf (siehe auch **Fig. 3**), sie verursachen aber eine vorteilhafte Kühlung des Kraftübertragers. Zur weitergehenden Abdichtung kann beispielsweise eine umlaufende Dichtung

zwischen Bohrung **2** und Sekundärkolben **6** verwendet werden. Zum Einsatz in Kraftstoffinjektoren kann als Fluid **4** beispielsweise Benzin, Diesel oder Methanol eingesetzt werden.

Auf der der Arbeitskammer **3** entgegengesetzten Seite des Kolbens **6** ist ein Stößel **20** angebracht, welcher auf einem Dichtelement **22** aufliegt. Die den Stößel **20** umgebende Wand der Bohrung **2** weist einen Ablauf **26** auf, der beispielsweise drucklos betrieben wird. Das Dichtelement **22**, das hier als Kugel ausgestaltet ist, dichtet in Ruhestellung die Bohrung **2** gegenüber einer Rückstellkammer **23** ab, wobei in Ruhestellung die Rückstellkammer **23** mit einem unter einem Druck stehenden Fluid **24** befüllt wird. Dies kann beispielsweise ein unter einem Hochdruck von 75–2500 bar stehender Kraftstoff, beispielsweise Diesel, Benzin oder Methanol, sein. Wenn die Arbeitskammer **3** Leckagen aufweist, ist die Verwendung gleicher Fluide **4** und **24** vorteilhaft. Durch ein oder mehrere Federn **27** wird sichergestellt, daß das Dichtelement **22** vorteilhafterweise auch im drucklosen Zustand oder bei nur geringen Drücken des Fluids **24** abdichtet, beispielsweise bei Lecks im Hochdrucksystem oder nach Einschalten des Kraftstoffinjektors. In diesem Ausführungsbeispiel bilden also druckbefüllte Rückstellkammer **23**, Federn **27** und Dichtelement **22** eine Rückstellvorrichtung **7**. Die Federn **27** können aber beispielsweise auch direkt am Sekundärkolben **6** angreifen, beispielsweise durch Abstützung an der Wand der Bohrung **2**. Die Rückstellkammer **23** ist wiederum mit einer Ventilkammer **28** eines Ventils verbunden, wobei zur Steuerung der Druckcharakteristik die Verbindung zwischen Rückstellkammer **23** und Ventilkammer **28** gedrosselt ausgeführt sein kann. Die Ventilkammer **28** wird wiederum über eine (optional gedrosselte) Zuleitung **25** mit dem unter einem Druck stehenden Fluid **24** befüllt. Durch den Druck des Fluids **24** in der Arbeitskammer **28** wird die Bewegung eines Hydraulikkolbens **29** gesteuert. Der Hydraulikkolben kann beispielsweise eine Einspritzdüsenadel eines Kraftstoffinjektors bewegen, welche wiederum die Kraftstoffzufuhr in einen Motor regelt. Die vorteilhafterweise verwendeten Hübe der Einspritzdüsenadel liegen zwischen 25 µm und 250 µm. Weiterhin kann der Kraftübertrager beispielsweise in linearen Stellantrieben im Flugzeugbau verwendet werden, z. B. bei drahtgelenkten Stellantrieben für Seiten- und Höhenruder (sog. "Fly-by-Wire").

In Ruhestellung des Kraftübertragers ist die Länge des primärseitigen Stellantriebs **5** in axialer Richtung minimal. Dies ist gleichbedeutend damit, daß das Volumen der Arbeitskammer **3** maximal ist. Der Druck PK in der Arbeitskammer **3** entspricht dann dem über die Zuleitung bereitgestellten Druck, vorteilhafterweise 1–50 bar. Zugleich ragt der Kolben **6** soweit in den Arbeitsraum, daß das Dichtelement **22** die Rückstellkammer **23** gegen die Bohrung **2** abschließt. Durch den Ablauf **26** ist sichergestellt, daß die Bohrung **2** weitgehend drucklos ist. Bei geschlossenem Dichtventil **22** baut sich in der Rückstellkammer **23** durch Zuleitung von Fluid **24** aus der Ventilkammer **28** ein hoher Druck auf das Dichtelement **22** auf. Die durch die Federn **27** auf das Dichtelement **22** ausgeübten Kräfte sind dagegen vergleichsweise klein. Durch den hohen Druck in der Rückstellkammer **23** und der Ventilkammer **28** ist der Ventilkolben **29** maximal ausgelenkt, d. h. von der Ventilkammer **28** weg verschoben.

Zu Beginn der Hubphase wird durch Anlegen einer elektrischen Spannung an dem als Stellantrieb **5** wirkenden Piezoelement eine Spannung angelegt, so daß es sich in axialer Richtung verlängert. Durch die Verlängerung des Stellantriebs **5** wird der Antriebskolben **9** in Richtung der Arbeitskammer **3** gedrückt und verkleinert diese. Der mechanische

Kraftschluß zwischen primärseitigem Stellantrieb 5 und sekundärseitigem Kolben 6 bewirkt, daß die vom Stellantrieb 5 ausgeübte Kraft in Axialrichtung direkt und verzögerungsfrei auf den Kolben 6 übertragen wirkt. Gleichzeitig erhöht sich mit einer Verringerung des Volumens der Arbeitskammer 3 der Druck PK des Fluids 4 in der Arbeitskammer 3. Das Rückschlagventil 11 verhindert, daß Fluid 4 aus der Arbeitskammer 3 über die Befüllzuleitung 10 ausströmt. Außer eines Rückschlagventils 11 kann beispielsweise auch eine Durchflußdrossel verwendet werden, die einfacher handzuhaben ist, aber eine zusätzliche Leckage aus der Arbeitskammer 3 verursachen kann. Geht man zunächst davon aus, daß sich beide Kolben 6, 9 weiterhin auf Anlage befinden, so wirkt auf den Sekundärkolben 6 neben der mechanisch vom Antriebskolben 9 ausgeübten Kraft eine zusätzliche hydraulische Druckkraft auf den sekundärseitigen Kolben 6. Zur Nutzung der hydraulischen Druckkraft ist der Sekundärkolben so geformt, daß die Kontaktfläche zwischen Sekundärkolben und Antriebskolben kleiner ist als die in die Arbeitskammer 3 hineinragende Querschnittsfläche des Sekundärkolbens 6. Zur einfachen Herstellung verringert sich vorteilhafterweise die Querschnittsfläche des Sekundärkolbens 6 zum Ende seiner mit dem Fluid 4 in Kontakt stehenden Seite hin. In dieser Figur beispielsweise besitzt dieses Endstück des Sekundärkolbens 6 die Form eines abgeflachten Kegels.

Während die mechanisch auf den Sekundärkolben 6 wirkende Antriebskraft bei weiterer Verschiebung des Antriebskolbens 9 aufgrund der fallenden Kraft/Weg-Charakteristik des Piezoelementes abnimmt, steigt die hydraulische Druckkraftkomponente durch die zunehmende Kompression des in der Arbeitskammer 3 eingeschlossenen Fluids 4 an. Dies hat zur Folge, daß mit zunehmender Verschiebung der beiden Kolben 6, 9 die hydraulischen Antriebskräfte am Sekundärkolben 6 wachsen, und ab einem bestimmten Druck PK des Fluids 4 in der Arbeitskammer 3 sich der Sekundärkolben 6 vom Antriebskolben 9 trennt und sich rein hydraulisch von der Arbeitskammer 3 weg bewegt. Der vom Sekundärkolben zurückgelegte Weg ist jetzt größer als die Auslenkung des primärseitigen Stellantriebs 5 bzw. des Antriebskolbens 9, es findet also zusammen mit der rein hydraulischen Bewegung eine Hubübersetzung statt.

Nach dem Entkoppeln der beiden Kolben 6, 9 steigt die druckwirksame Fläche des Sekundärkolbens 6 und dadurch die hydraulisch auf diesen ausgeübte Kraft. Infolgedessen wird das Absteuerventil 22 nach Überwinden der ersten kraftstoßartigen Hubphase hydraulisch übersetzt geöffnet. Unterstützt wird dieser Vorgang durch den während des Hubvorgangs stark fallenden Druck in der Rückstellkammer 23, so daß die weitere hydraulisch übersetzte Verschiebung des Sekundärkolbens 6 einen gegenüber der Anfangsphase wesentlich niedrigeren Kraftbedarf erfordert. Das geometrische Übersetzungsverhältnis  $\Pi$  ( $\Pi$  = Verhältnis der druckbelasteten Querschnittsfläche des Antriebskolbens 9 zur druckbelasteten Querschnittsfläche des Sekundärkolbens 6, jeweils in Bewegungsrichtung nach Entkoppeln) reicht dabei vorteilhafterweise von  $\Pi = 1$  (gleicher Querschnitt der Kolben 6, 9) bis  $\Pi = 50$  (großer Querschnitt des Antriebskolbens 9, kleiner Querschnitt des Sekundärkolbens 6).

Zur Beendigung des Hubvorgangs wird das als Stellantrieb 5 eingesetzte Piezoelement entladen, was ein schnelles durch die Federn 12 unterstütztes Rückstellen des Antriebskolbens 9 bewirkt. Dadurch kann der Kammerdruck PK unter den von der Zuleitung 10 bereitgestellten Druck des Fluids 4 fallen, so daß der Sekundärkolben 6 außer von den von der Rückstellkammer 23 ausgeübten Kräften auch durch einen Unterdruck in der Arbeitskammer 3 zurückgestellt wird. Mit Zurückziehen des Sekundärkolbens 6

schließt auch das Dichtelement 22, Antriebskolben 9 und Sekundärkolben 6 befinden sich wieder auf Anlage.

Fig. 2 zeigt schematisch das Arbeitsdiagramm des hydraulisch-mechanischen Kraftübertragers in Form eines Kraft-Weg-Diagramms bei Auftragung der auf den Sekundärkolben 6 Stausgeübten Kraft F gegen seine Verschiebung x. Nach Durchlaufen der Direktantriebsphase A, gekennzeichnet durch den steilen Gradienten, schaltet der Antrieb selbsttätig auf hydraulische Hubübersetzung B, zu erkennen am flacheren Gradienten, um.

In Fig. 3 zeigt schematisch in Schnittdarstellung ein weiteres Ausführungsbeispiel, bei dem anstelle des Antriebskolbens 9 eine Membran 15 zum Einsatz kommt. Der Durchmesser der, hier kreisförmigen, Membran 15 beträgt vorteilhafterweise 5–50 mm, das geometrische Übersetzungsverhältnis  $\Pi$  des Durchmessers der Membran 15 zur zur druckbelasteten Querschnittsfläche des Sekundärkolbens 6 liegt vorteilhafterweise im Bereich  $1 < \Pi \leq 50$ . Die Materialien der Membran sind beispielsweise Metalle (vorteilhafterweise Edelstähle mit hohem Elastizitätsmodul), Keramiken oder keramikähnliche Materialien und/oder Faserverbundwerkstoffe. Die vom einem Stellantrieb 5 in Form eines Piezoelementes generierte Kraft wird vorzugsweise über eine der optimalen Krafteinleitung dienende Scheibe 16 auf die vorzugsweise metallische Membrane 15 übertragen. Die durch die Membrane 15 und das Gehäuse 1 gebildete Arbeitskammer 3 wird über eine Befüllzuleitung 10, die mit einem in die Arbeitskammer 3 öffnenden Rückschlagventil 11 versehen ist, mit Fluid 4 befüllt. An die Arbeitskammer 3 grenzt eine Bohrung 2, so daß ein in der Bohrung axialverschiebbar angebrachter Kolben 2 in die Arbeitskammer 3 hineinragt. Die Arbeitsweise dieses Kraftübertragers ist weitgehend analog zu in Fig. 1, wobei hier durch Verschiebung des Stellantriebs 5 die Membran in die Arbeitskammer 3 hineingedrückt wird. Im Gegensatz zu Fig. 1 besitzt die Verwendung einer Membran 15 den Vorteil eines einfacheren Aufbaus, weil sich die Membran 15 nach Rückziehen des Stellantriebs 5 selbsttätig zurückstellt. Dadurch werden beispielsweise keine Federn 12 benötigt.

Im Gegensatz zu den in Fig. 1 und Fig. 3 gezeigten offenen, d. h. leakagebehafteten Kraftübertragungssystemen, die eine zur Auffüllung von Leckageverlusten dienende Befüllzuleitung 10 benötigen, zeigt Fig. 4 ein von einer Doppelmembrane 17 gebildetes, vorteilhafterweise geschlossenes Übertragungssystem. Die Doppelmembran 17 kann entweder durch den Einbau einer oberen Membran 18 und einer unteren Membran 19 in das Gehäuse 1 gebildet werden oder zur vereinfachten Herstellung und Handhabung vorteilhafterweise als gesondert gefertigtes Bauteil vorliegen. Die Membranen 18, 19 sind vorteilhafterweise metallisch, vorteilhafterweise aus Edelstahl mit hohem Elastizitätsmodul, es können aber auch jeweils unterschiedliche Werkstoffe für die Membranen 18, 19 eingesetzt werden (z. B. Keramiken oder keramikähnliche Materialien und/oder Faserverbundwerkstoffe). Das geometrische Übersetzungsverhältnis  $\Pi$  des Durchmessers der oberen Membran 18 zum Durchmesser der unteren Membran 19 liegt vorteilhafterweise im Bereich  $1 < \Pi \leq 50$ . In Fig. 4 ist eine gesondert gefertigte Doppelmembran 17 eingezeichnet, die in das Gehäuse 1 eingeklemmt ist. Die vom einem Stellantrieb 5 in Form eines Piezoelementes generierte Kraft wird vorzugsweise über eine der optimalen Krafteinleitung dienende Scheibe 16 auf die obere Membrane 18 übertragen. Der als Arbeitskammer 3 wirkende Innenraum der Doppelmembrane 17 ist in Ruhestellung mit einem unter einem Anfangsdruck stehenden Fluid 4 gefüllt. Als Fluide 4 können beispielsweise synthetische Öle (Silikonöl, polymere Dimethyilsiloxane, polymere Methylphenylsiloxane), Mineralöle, Fette oder Gele einge-

setzt werden. Besonders vorteilhaft sind dabei Silikonöle wegen ihrer geringen thermischen Ausdehnung.

Zur direkten Kraftübertragung zwischen Stellantrieb 5 und Sekundärkolben 6 dient ein an der oberen Membran 18 befestigtes Hütcchen 21, welches auch Bestandteil der oberen Membran 18 selbst sein kann und dessen Kontaktfläche auf einer unteren Membran 19 kleiner ist als die druckwirksame Fläche der unteren Membran 19. Die Hubübersetzung geschieht dadurch, daß sich durch einen ausreichend hohen Kammerdruck PK die untere Membran 19 von der Arbeitskammer 3 weg wölbt und diese Bewegung an den Sekundärkolben 6 weitergibt. Bei dieser Konstruktion ist die maximale Auslenkung des Sekundärkolbens 6 auf die Auslenkung der unteren Membran 19 beschränkt. Vorteilhafterweise stellen sich beide Membranen 18, 19 bei Zurückziehen des Stellantriebs 5 selbstständig zurück.

In Fig. 5 wird eine weitere Ausführung einer Doppelmembran 17 zur Kraftübertragung gezeigt. Hierbei liegt die gesondert gefertigte Doppelmembran 17 auf dem Gehäuse 1 auf. Die Arbeitskammer 3 ist wiederum mit einem unter einem Druck stehenden Fluid 4 gefüllt. Die direkte Kraftübertragung vom Stellantrieb 5 auf den Sekundärkolben 6 zu Beginn der Hubphase wird durch eine Wölbung der unteren Membran 19 in Richtung der oberen Membran 18 gewährleistet, bei der sich beide Membranen 18, 19 berühren. Die vom einem Stellantrieb 5 in Form eines Piezoelementes generierte Kraft wird vorzugsweise über eine der optimalen Krafteinleitung dienende Scheibe 16 auf die obere Membran 18 übertragen. Bei Betätigung des Stellantriebs 5 drückt dieser die obere Membran 18 so lange gegen die untere Membran 19, bis sich bei einem ausreichend hohen Kammerdruck PK die untere Membran 19 von der Arbeitskammer 3 weg wölbt und diese Bewegung an den Sekundärkolben 6 weitergibt.

Zur Rückstellung der Kraftübertragers besitzt vorteilhafterweise die obere Membran 18 eine größere Rückstellkraft als die untere Membran 19. Nach dem Zurückziehen des Stellantriebs 5 stellt sich die obere Membran sich ebenfalls zurück und unterstützt durch den in der Arbeitskammer 3 erzeugten Unterdruck die Ausbildung der ursprünglich vorhandenen Wölbung der unteren Membran 19.

#### Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Kraftübertragung, bestehend aus
  - einer Arbeitskammer (3), die ein unter einem Kammerdruck (PK) stehendes Fluid (4) enthält,
  - einem Stellantrieb (5),
  - einem Gehäuse (1), das mit mindestens einer an die Arbeitskammer (3) grenzenden Bohrung (2) versehen ist,
  - einem Kolben (6) pro Bohrung (2), der in der jeweiligen Bohrung (2) axialverschiebbar angeordnet ist,
  - einer Rückstellvorrichtung (7) pro Kolben (6), die den jeweiligen Kolben (6) in Richtung der Arbeitskammer (3) drückt,
 wobei
  - in Ruhestellung über die Arbeitskammer (3) ein mechanischer Kraftschluß zwischen Stellantrieb (5) und Kolben (6) vorhanden ist,
  - durch Bewegung des Stellantriebs (5) der Kolben (6) mechanisch bei gleichzeitiger Erhöhung des Kammerdrucks (PK) solange verschiebbar ist, bis er ausschließlich durch hydraulische Übersetzung verschiebbar ist.
2. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach Anspruch 1, bei der der Stellantrieb (3) und mindestens ein Kolben

(6) ungefähr die gleiche Bewegungsrichtung besitzen.

3. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der

- im Gehäuse eine weitere Bohrung (8) existiert, in welcher sich mindestens teilweise ein Antriebskolben (9) befindet, der in der zweiten Bohrung (8) axialverschiebbar ist, so daß durch die zweite Bohrung (8) und den Antriebskolben (9) die Arbeitskammer (3) gebildet wird,
- die Bohrung (2) in die Arbeitskammer (3) mündet, wobei der Kolben (6) dem Fluid (4) ausgesetzt ist,
- die Arbeitskammer (3) durch eine Befüllzuleitung (10) mit dem Fluid (4) beliefert wird, wobei die Befüllzuleitung (10) gedrosselt ist oder mit einem in die Arbeitskammer (3) öffnenden Rückschlagventil (11) versehen ist,
- der Stellantrieb (5) auf den Antriebskolben (9) wirkt.

4. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach Anspruch 3, bei der der Stellantrieb (5) außerhalb der Arbeitskammer (3) angebracht ist,

5. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 3–4, bei der

- der Antriebskolben (9) im wesentlichen ein einseitig offener Hohlkörper ist, wobei die Öffnung in der der Arbeitskammer (3) abgewandten Seite des Antriebskolbens (9) angebracht ist,
- der Stellantrieb (5) sich an der an die Arbeitskammer (3) angrenzenden Wand des Antriebskolben (9) und an dem Gehäuse (1) abstützt.

6. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 3–5, bei der der Antriebskolben (9) mit Hilfe einer oder mehrerer Druckfedern (12) in Ruhestellung gedrückt wird.

7. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 3–6, bei der zwischen dem Antriebskolben (9) und der senkrecht zur Bewegungsrichtung vorhandenen Wand der Bohrung (2) eine umlaufende Dichtung (13) vorhanden ist.

8. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 3–7, bei der sich zwischen Stellantrieb (5) und einer den Stellantrieb (5) abstützenden Fläche ein Ausgleichselement (14) zum Ausgleich thermisch bedingter Längenänderungen befindet.

9. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 3–8, bei der die Außenmaße des Antriebskolbens (9) senkrecht zur Bewegungsrichtung im Bereich 5–50 mm liegen.

10. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 1–2, bei der

- die Arbeitskammer (3) durch die Bohrung (8) und eine in die Wand der Bohrung (8) fest eingespannte Membran (15) gebildet wird,
- der Stellantrieb (5) auf die der Arbeitskammer (3) entgegengesetzte Seite der Membran (15) wirkt,
- die Bohrung (2) in die Arbeitskammer (3) mündet, so daß der Kolben (6) dem Fluid (4) ausgesetzt ist.

11. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Arbeitskammer (3) durch eine Befüllzuleitung (10) mit dem unter dem Kammerdruck (PK) stehenden Fluid (4) beliefert wird, wobei die Befüllzuleitung (10) gedrosselt ist oder mit einem in Richtung der Arbeitskammer (3) öffnenden Rückschlagventil (11) versehen ist.

12. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der

vorhergehenden Ansprüche, bei der die Kontaktfläche des Kolbens (6) zur mechanischen Kraftübertragung vom Stellantrieb (5) kleiner ist als die in die Arbeitskammer (3) hineinragende Querschnittsfläche des Kolbens (6).

13. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 1–2, bei der

- die Arbeitskammer (3) der Innenraum einer Doppelmembran (17) ist, wobei die Doppelmembran (17) aus einer oberen Membran (18) und einer dazu im wesentlichen parallel eingespannten unteren Membran (19) aufgebaut ist,
- die untere Membran (19) einer Öffnung der Bohrung (2) gegenüberliegt,
- die obere Membran (18) durch den Stellantrieb (5) verschiebbar ist,

wobei in Ruhestellung die Membranflächen der oberen Membran (18) und der unteren Membran (19) miteinander in mechanischem Kontakt stehen, so daß ein Teil der unteren Membran (19) dem unter Druck stehenden Fluid (4) ausgesetzt ist.

14. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach Anspruch 13, bei der der mechanische Kontakt zwischen oberer Membran (18) und unterer Membran (19) durch ein mit der oberen Membran (18) fest verbundenes Hütchen (21) realisiert ist.

15. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach Anspruch 14, bei der das Hütchen (21) Teil der oberen Membran (18) ist.

16. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach Anspruch 13, bei der der mechanische Kontakt zwischen oberer Membran (18) und unterer Membran (19) durch eine Wölbung der unteren Membran (19) in die Arbeitskammer (3) realisiert ist.

17. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 13–16, bei der das Fluid (4) ein Silikonöl ist.

18. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 10–17, bei der mindestens eine Membran (15, 18, 19) metallisch ist.

19. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 10–18, bei der der Durchmesser der an den Stellantrieb grenzenden Membran (15, 18) im Bereich von 5–50 mm liegt.

20. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 10–19, bei der zwischen Stellantrieb (5) und der durch den Stellantrieb (5) unmittelbar bewegten Membran (15, 18) eine Scheibe (16) vorhanden ist.

21. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Kammerdruck (PK) in Ruhestellung 1–50 bar beträgt.

22. Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Stellantrieb (5) ein Piezoelement ist.

23. Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 1–22, bei dem

- das Volumen einer hydraulisch abgedichteten Arbeitskammer (3), die mit einem unter einem Kammerdruck (PK) stehenden Fluid (4) beaufschlagbar ist, mittels eines Stellantriebs (5) veränderbar ist,
- mindestens eine in einem Gehäuse (1) vorhandene Bohrung (2) an die Arbeitskammer (3) grenzt,
- ein Kolben (6) pro Bohrung (2) vorhanden ist, der in der jeweiligen Bohrung (2) axialverschiebbar ist,

- einer Rückstellvorrichtung (7) pro Kolben (6), die den jeweiligen Kolben (6) in Richtung der Arbeitskammer (3) drückt,

wobei

- in Ruhestellung ein mechanischer Kraftschluß zwischen Kolben (6) und Stellantrieb (5) gegeben ist,
- bei Bewegung des Stellantriebs (5) aus der Ruhestellung heraus der Kolben (6) mit Hilfe des mechanischen Kraftübertrags zwischen Kolben (6) und Stellantrieb (5) entgegen der Richtung der Arbeitskammer (3) verschoben wird und dabei gleichzeitig der Kammerdruck (PK) in der Arbeitskammer (3) so lange erhöht wird, bis die durch den ausreichenden Kammerdruck (PK) sich der Kolben (6) vom Stellantrieb (5) mechanisch entkoppelt und ausschließlich durch hydraulische Hubübertragung bewegt wird,
- die Ruhestellung durch Rückbewegung des Stellantriebs (5) wieder eingenommen wird.

24. Verfahren zur Kraftübertragung nach Anspruch 23, bei dem der Kolben (6) 25–250 µm aus der Ruhestellung verschoben wird.

25. Verfahren zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 23 oder 24, bei dem der Stellantrieb (5) ein Piezoelement ist, dessen Piezohub 0,1–0,17% seiner Länge beträgt.

26. Verfahren zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 23–25 zur Ventilsteuerung, wobei der Kolben (6) auf seiner der Arbeitskammer (3) abgewandten Seite über einen Stößel (20) mit einem Dichtelement (22) verbunden ist, welches im Ruhezustand die Bohrung (2) gegen eine Rückstellvorrichtung (7) in Form einer Rückstellkammer (23), die mittels einer Zuleitung (25) mit einem Fluid (24) druckbeaufschlagt ist, hydraulisch abdichtet, wobei die den Stößel (20) umgebende Wand der Bohrung (2) einen Ablauf (26) aufweist.

27. Verfahren zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 23–26 zur Ventilsteuerung, bei der der Kolben (6) zusätzlich direkt oder indirekt durch ein oder mehrere Federn (27) in seinen Sitz gedrückt wird.

28. Verfahren zur Kraftübertragung nach einem der Ansprüche 26 oder 27 zur Ventilsteuerung, bei der die Rückstellkammer (23) mit einer Ventilkammer (28) verbunden ist, wobei durch den Druck des Fluids (24) in der Ventilkammer (28) eine Bewegung eines Ventilkolbens (29) gesteuert wird.

29. Verfahren zur Kraftübertragung nach Anspruch 28 zur Kraftstoffeinspritzung, bei der die Zuleitung (25) in die Ventilkammer (28) führt und diese mit Kraftstoff als Fluid (24) befüllt, wobei die Bewegung des Ventilkolbens (29) eine Einspritzung steuert.

30. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1–22 zur Ventilsteuerung oder Kraftstoffeinspritzung.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---



- Leerseite -

**FIG 1**

